



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 199 15 793 A 1**

51 Int. Cl.⁷:
B 01 D 53/94
B 01 D 53/86
F 01 N 9/00

21 Aktenzeichen: 199 15 793.6
22 Anmeldetag: 8. 4. 1999
48 Offenlegungstag: 19. 10. 2000

DE 199 15 793 A 1

71 Anmelder:
DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Voigtländer, Dirk, Dipl.-Ing., 70825
Korntal-Münchingen, DE; Hertzberg, Andreas,
Dipl.-Ing., 70374 Stuttgart, DE; Fekete, Nicholas, Dr.,
70734 Fellbach, DE

55 Entgegenhaltungen:
DE 195 43 219 C1
DE 198 16 799 A1
EP 06 36 770 A1
EP 05 98 917 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zur Desorption eines Stickoxidadsorbers einer Abgasreinigungsanlage

57 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Durchführung von Desorptionsbetriebsphasen bei einem Stickoxidadsorber einer Abgasreinigungsanlage, bei dem das Luftverhältnis des dem Stickoxidadsorber zugeführten Abgases während der jeweiligen Desorptionsbetriebsphase im fetten Bereich gehalten wird. Erfindungsgemäß wird das Abgasluftverhältnis zu Beginn der Desorptionsbetriebsphase auf einen vorgebbaren minimalen Anfangs-Fettwert eingestellt und von dort im Verlauf der Desorptionsbetriebsphase auf einen vorgebbaren, spätestens gegen Ende der Desorptionsbetriebsphase vorliegenden End-Fettwert angehoben. Verwendung z. B. zur Desorption eines Stickoxidadsorbers einer Anlage zur Reinigung des Abgases eines mager betriebenen Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotors.

DE 199 15 793 A 1

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Durchführung von Desorptionsbetriebsphasen bei einem Stickoxidadsorber einer Abgasreinigungsanlage, wobei das Luftverhältnis des dem Stickoxidadsorber zugeführten Abgases während der jeweiligen Desorptionsbetriebsphase im fetten Bereich gehalten wird.

Ein solches Verfahren ist insbesondere für Abgasreinigungsanlagen von mager betriebenen Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotoren verwendbar, die einen Stickoxidadsorber beinhalten, um die in Magerbetriebsphasen des Verbrennungsmotors meist vermehrt im Abgas vorliegenden Stickoxide adsorptiv zwischenspeichern und dadurch die Stickoxidemissionen zu vermindern. Während dieser Adsorptionsphasen werden die Stickoxide vom Stickoxidadsorber primär als Nitrat gebunden, wobei der Adsorber meist ein katalytisch wirksames Material enthält und in diesem Fall auch als Stickoxid-Adsorberkatalysator bezeichnet wird. Da seine Stickoxid-Speicherkapazität begrenzt ist, ist von Zeit zu Zeit die Durchführung von Regenerationsphasen, vorliegend Desorptionsbetriebsphasen genannt, notwendig, während denen die in Nitratform adsorbierten Stickoxide wieder desorbiert werden.

Es ist bekannt, beim Wechsel von Adsorptionsbetrieb zu Desorptionsbetrieb von der während des Adsorptionsbetriebs meist herrschenden mageren Abgasatmosphäre zu einer fetten, chemisch reduzierend wirkenden Abgasatmosphäre überzugehen, d. h. das Abgasluftverhältnis von einem zuvor über dem stöchiometrischen Wert eins liegenden Wert, vorliegend als Magerwert bezeichnet, auf einen unterhalb des stöchiometrischen Wertes liegenden Wert, vorliegend als Fettwert bezeichnet, rasch zu ändern. Da das Luftverhältnis auch als Lambdawert bezeichnet wird, wird dieser rasche Wechsel der Abgasatmosphäre von mager auf fett allgemein auch "Lambdasprung" genannt. Desorptionsverfahren dieser Art mit einem Lambdasprung und aus daraus resultierende Abgasemissionsverhalten des Stickoxidadsorbers sowie eines die Abgase erzeugenden Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotors sind beispielsweise in der Veröffentlichung M. S. Brogan et al., Evaluation of NO_x Storage Catalysts as an Effective System for NO_x Removal from the Exhaust of Leanburn Gasoline Engines, SAE Technical Paper Series 952490, 1995 beschrieben. In den dort vorgestellten Grundsatzuntersuchungen wird insbesondere über Desorptionsverfahren berichtet, bei denen das Abgasluftverhältnis während einer jeweiligen Desorptionsbetriebsphase, die über einen mehr oder weniger langen Zeitraum von einigen wenigen Sekunden bis in den Minutenbereich aufrechterhalten wird, auf einem vorgebbaren, konstanten Fettwert gehalten wird.

Weitere Verfahren der eingangs genannten Art, die mit einem Lambdasprung beim Wechsel von Adsorptionsbetrieb zu Desorptionsbetrieb arbeiten, sind in den Offenlegungsschriften EP 0 598 917 A1 und EP 0 636 770 A1 beschrieben. In der EP 0 598 917 A1 wird insbesondere vorgeschlagen, für die Desorption auf einen Fettwert des Abgasluftverhältnisses zu wechseln, der ebenso wie die Steilheit des zugehörigen Lambdasprungs von der Temperatur des Abgases und damit des Stickoxidadsorbers abhängig festgelegt wird. Des weiteren sind in diesen beiden Druckschriften Methoden zur Detektion beschrieben, wann eine Regeneration des Stickoxidadsorbers notwendig ist. Dies kann z. B. mit dem Signal eines stromabwärts des Stickoxidadsorbers angeordneten Stickoxidsensors oder über eine Berechnung der im Stickoxidadsorber gespeicherten Stickoxidmenge und den Vergleich der berechneten Menge mit einer maximal zulässigen Stickoxidspeichermenge erfolgen, wozu mittels einer

Lambdasonde das Abgasluftverhältnis stromabwärts des Stickoxidadsorbers erfaßt werden kann.

Bei der vorliegenden Art der Desorption des Stickoxidadsorbers treten als Schwierigkeiten vor allem auf, daß es zu Beginn der Desorptionsbetriebsphase zu sogenannten Stickoxid-Durchbrüchen, wenn der Desorptionsbetrieb nicht rechtzeitig mit ausreichend viel Reduktionsmittel gestartet wird, und gegen Ende der Desorption zu einem unerwünschten Reduktionsmittelschlupf kommen kann. Letzterer stellt eine unerwünschte Emission von Reduktionsmitteln mit dem Abgas dar, wenn der Desorptionsbetrieb nicht rechtzeitig beendet wird, während dem solche Reduktionsmittel z. B. in Form von unverbrannten Kohlenwasserstoffen und Kohlenmonoxid oder von extern im Abgasstrom zudosiertem Harnstoff bzw. Ammoniak im Abgas vorliegen. Der Reduktionsmittelschlupf beeinflußt sowohl den Kraftstoffverbrauch für die Verbrennungsquelle als auch die Schadstoffemissionen negativ. Er wird um so größer, je länger die Desorptionsbetriebsphase über die tatsächlich notwendige Dauer hinausgeht und je kleiner das Abgasluftverhältnis in diesem Zeitraum der Desorptionsbetriebsphase ist.

Der Erfindung liegt als technisches Problem die Bereitstellung eines Desorptionsverfahrens der eingangs genannten Art zugrunde, mit dem sich der Stickoxidadsorber mit relativ geringen Stickoxid durchbruch- und Reduktionsmittelschlupferscheinungen regenerieren läßt.

Die Erfindung löst dieses Problem durch die Bereitstellung eines Desorptionsverfahrens mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Bei diesem Verfahren wird das Abgasluftverhältnis zu Beginn der Desorptionsbetriebsphase auf einen vorgebbaren minimalen Anfangs-Fettwert eingestellt und von dort im Verlauf der Desorptionsbetriebsphase auf einen vorgebbaren, spätestens gegen Ende der Desorptionsbetriebsphase vorliegenden End-Fettwert angehoben. Dies bedeutet, daß der End-Fettwert im fetten, d. h. sauerstoffarmen Lambdawertbereich näher am stöchiometrischen Wert eins liegt als der Anfangs-Fettwert. Das anfängliche Einstellen eines relativ fetten Abgasluftverhältnisses hat die erwünschte Folge, daß beim Wechsel vom Adsorptions- zum Regenerationsbetrieb möglichst schnell viel Reduktionsmittel bereitgestellt wird, wodurch sich Stickoxid durchbrucherscheinungen, d. h. unerwünschte Stickoxidemissionen durch zu langsames Bereitstellen von ausreichend Reduktionsmittel bei Erreichen des vollen Stickoxid-Beladungszustands des Stickoxidadsorbers, verringern oder ganz vermeiden lassen. Der Übergang zu einem weniger fetten Abgasluftverhältnis spätestens gegen Ende der Desorptionsbetriebsphase hat den Vorteil, daß ein unerwünschter Reduktionsmittelschlupf beim Übergang zur nächsten Adsorptionsbetriebsphase minimiert oder ganz vermieden werden kann. Denn dieser Reduktionsmittelschlupf, der auftritt, wenn die Desorptionsbetriebsphase über ihre eigentlich notwendige Zeitdauer hinweg aufrechterhalten wird und dann nicht mehr ausreichend Stickoxide desorbiert werden, welche die Reduktionsmittel binden, ist um so geringer, je näher das fette Abgasluftverhältnis in diesem Zeitraum am stöchiometrischen Wert liegt.

Bei einem nach Anspruch 2 weitergebildeten Verfahren wird der Anfangs-Fettwert in Abhängigkeit vom Betriebszustand der das zu reinigende Abgas emittierenden Verbrennungsquelle variabel vorgegeben. Dadurch kann z. B. die Einstellung eines zu fetten Abgasluftverhältnisses im gegebenen Betriebszustand der Verbrennungsquelle vermieden werden, was bei einem Verbrennungsmotor ansonsten dessen Laufruhe beeinträchtigen und Rußbildung verursachen könnte.

Es zeigt sich, daß die Einstellung des Anfangs-Fettwertes und des End-Fettwertes innerhalb der hierzu in Weiterbil-

dung der Erfindung im Anspruch 3 angegebenen Wertebereiche zu günstigen Ergebnissen führt.

Bei einem nach Anspruch 4 weitergebildeten Verfahren wird für die jeweilige Desorptionsbetriebsphase anhand hierfür relevanter Daten eine theoretische Mindestdesorptionsdauer ermittelt, und das Abgasluftverhältnis wird dann höchstens während einer Zeitdauer auf dem minimalen Anfangs-Fettwert gehalten, die dieser theoretischen Mindest-desorptionsdauer abzüglich einer Leistungsnachregeldauer entspricht, die benötigt wird, diese Abgasluftverhältnisänderung für die Leistungsabgabe der Verbrennungsquelle neutral durchzuführen, d. h. ohne daß die Abgasluftverhältnisänderung von einer unerwünschten Änderung der Leistungsabgabe der Verbrennungsquelle, z. B. des von einem Verbrennungsmotor abgegebenen Drehmoments, begleitet wird. Diese Vorgehensweise trägt der Tatsache Rechnung, daß eine solche leistungsneutrale Abgasluftverhältnisänderung, die in aller Regel eine entsprechende Änderung der Betriebsparameter der Verbrennungsquelle bedingt, nicht instantan möglich ist, sondern hierfür die besagte Leistungsnachregeldauer erforderlich ist.

Des weiteren läßt sich durch das so weitergebildete Verfahren das anfängliche, am stärksten fetten Abgasluftverhältnis über eine möglichst lange Zeitdauer hinweg beibehalten, was die zur Desorption des Stickoxidadsorbers insgesamt notwendige Zeitdauer kurz hält, ohne daß andererseits die Gefahr droht, daß der Desorptionsbetrieb mit diesem fetten Abgasluftverhältnis zu lange beibehalten wird und einen merklichen Reduktionsmittelschlupf verursacht. Denn dazu wird der Desorptionsbetrieb mit dem am stärksten fetten, anfänglichen Abgasluftverhältnis nur für die theoretische Mindestdesorptionsdauer beibehalten, die in jedem Fall für die Desorption der am Ende der vorangegangenen Adsorptionsbetriebsphase im Stickoxidadsorber vorliegenden Stickoxidmenge benötigt wird.

In einer weiteren Ausgestaltung dieser Maßnahme ist gemäß Anspruch 5 eine Sicherheitszeitdauer vorgesehen, um die das Abgasluftverhältnis früher als gemäß der theoretischen Mindestdesorptionsdauer und der Leistungsnachregeldauer erforderlich vom minimalen Anfangs-Fettwert aus angehoben wird, um sicherzustellen, daß bei Erreichen des End-Fettwertes noch desorbierte, zu reduzierende Stickoxide vorliegen, so daß kein merklicher Reduktionsmittelschlupf auftritt. Die Sicherheitszeitdauer wird vorzugsweise abhängig vom Betriebszustand der Verbrennungsquelle variabel gewählt, so daß der Desorptionsbetrieb für den jeweiligen Betriebszustand brennstoffverbrauchsoptimal ablaufen kann.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den Zeichnungen dargestellt und werden nachfolgend beschrieben. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine schematische zeitabhängige Diagrammdarstellung des Abgasluftverhältnisses während einer Desorptionsbetriebsphase mit anfänglichem Lambdasprung und allmählicher Anhebung auf ein weniger fettes Abgasluftverhältnis,

Fig. 2 ein Diagramm des Abgasluftverhältnisses in Abhängigkeit von der Zeit zur Veranschaulichung eines Desorptionsverfahrens mit Beibehaltung des anfänglichen fetten Abgasluftverhältnisses für eine berechnete Zeitdauer und

Fig. 3 bis 6 Abgasluftverhältnis-Zeit-Diagramme zur Veranschaulichung weiterer verschiedener Möglichkeiten der Einstellung des Abgasluftverhältnisses während einer Desorptionsbetriebsphase.

In den gezeigten Diagrammen der Fig. 1 bis 6 sind verschiedene Verfahrensrealisierungen zur Durchführung von Desorptionsbetriebsphasen bei einem Stickoxidadsorber ei-

ner Abgasreinigungsanlage illustriert, die sich insbesondere im zeitlichen Verlauf des während des Desorptionsbetriebs gewählten Abgasluftverhältnisses λ unterscheiden, das jeweils zeitabhängig schematisch abgetragen ist. Dabei ist ohne Beschränkung der Allgemeinheit angenommen, daß vor dem Zeitpunkt t_d des Beginns der jeweils gezeigten Desorptionsbetriebsphase und nach dem Zeitpunkt t_e der Beendigung dieser Desorptionsbetriebsphase die Verbrennungsquelle, z. B. ein Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotor, mager betrieben wird, so daß ein entsprechend mageres Abgasluftverhältnis λ_M vorliegt, das über dem stöchiometrischen Wert eins liegt. In diesen Betriebsphasen befindet sich der Stickoxidadsorber im Adsorptionsbetrieb, in dem er die dann vermehrt im Abgas anfallenden Stickoxide adsorptiv zwischenspeichert, meist in Nitratform.

Zur Einleitung der Desorptionsbetriebsphase wird das Abgasluftverhältnis λ von diesem Magerwert λ_M auf einen bestimmten minimalen Anfangs-Fettwert λ_{\min} abgesenkt. Die Realisierung dieses Lambdasprungs erfolgt in herkömmlicher Weise z. B. durch entsprechende Anfeuchtung des von der Verbrennungsquelle verbrannten Luft/Kraftstoff-Gemischs und/oder eine Reduktionsmittelspeinspritzung in den Abgastrakt stromaufwärts des Stickoxidadsorbers. Anschließend wird während einer entsprechenden Zeitdauer $t_d = t_e - t_d$ der Desorptionsbetrieb durchgeführt, während dem das Abgasluftverhältnis λ im fetten Bereich, d. h. unter dem stöchiometrischen Wert eins, gehalten wird. Dann wird wieder auf den normalen Magerbetrieb der Verbrennungsquelle und folglich vom Desorption zum Adsorption zum Desorption des Stickoxidadsorbers übergegangen. Während der Desorptionsbetriebsphase wird das Abgasluftverhältnis λ vom anfänglichen minimalen Fettwert λ_{\min} bis auf einen End-Fettwert λ_{end} angehoben, der spätestens zum Endzeitpunkt t_e der Desorptionsbetriebsphase vorliegt und noch im fetten Bereich liegt, jedoch deutlich näher am stöchiometrischen Wert eins als der anfängliche minimale Fettwert λ_{\min} .

Zu Beginn t_d des Desorptionsbetriebs ist einerseits eine möglichst starke Absenkung des Abgasluftverhältnisses λ , d. h. die Bereitstellung von möglichst viel Reduktionsmittel, erwünscht, um jegliche Stickoxiddurchbrüche bei der Umschaltung von Adsorptions- auf Desorptionsbetrieb zu vermeiden. Andererseits ist die Absenkung des Abgasluftverhältnisses λ dadurch limitiert, daß eine zu starke Absenkung die Gefahr der Rußbildung hervorruft und im Fall eines Verbrennungsmotors dessen Laufruhe beeinträchtigt. Der anfängliche minimale Fettwert λ_{\min} wird daher in Abhängigkeit von den konkreten Gegebenheiten der gegebenen Verbrennungsquelle und von deren momentanem Betriebspunkt gewählt, wobei sich zeigt, daß der minimale Fettwert λ_{\min} bevorzugt im Bereich zwischen etwa 0,6 und etwa 0,7 liegt. Ein sehr schnelles Einstellen dieses minimalen Luftverhältnisses λ_{\min} führt zu einem großen Reduktionsmittelstrom und auf diese Weise zur gewünschten Minimierung eventueller Stickoxiddurchbrüche.

Der weiteren Wahl des Abgasluftverhältnisses nach begonnenem Desorptionsbetrieb liegen folgende Überlegungen zugrunde. Einerseits ermöglicht eine Beibehaltung des minimalen Fettwertes λ_{\min} während des Desorptionsbetriebs eine möglichst schnelle Regeneration des Stickoxidadsorbers und hat nur einen minimalen Kraftstoffmehrerbrauch zur Folge. Andererseits ist, wenn der Desorptionsbetrieb aus regelungstechnischen Gründen, insbesondere aufgrund prozeßbedingter Totzeiten, zu lang andauert, der auftretende Reduktionsmittelschlupf groß, wenn das Abgasluftverhältnis zu diesem Zeitpunkt noch stark im fetten Bereich liegt. Der Reduktionsmittelschlupf beeinflusst die Gesamtemissionen negativ, da hierbei z. B. unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Kohlenmonoxid als Schadstoffe emittiert werden.

Es ist daher günstig, das Abgasluftverhältnis spätestens gegen Ende der Desorptionsbetriebsphase vom anfänglichen minimalen Fettwert λ_{\min} auf den näher am stöchiometrischen Wert eins liegenden End-Fettwert λ_{end} anzuheben, beispielsweise spätestens dann, wenn die kritische Zeitdauer des Luftverhältniswechsels von mager nach fett überwunden ist, während der ein Stickoxiddurchbruch auftreten kann. Fig. 1 zeigt einen prinzipiell möglichen zeitlichen Verlauf λ_1 des Luftverhältnisses, der diesen Überlegungen Rechnung trägt und in diesem Fall eine konkave Kurvenform hat. Der End-Fettwert λ_{end} wird in jedem Fall so gewählt, daß er noch ausreichend weit vom stöchiometrischen Wert eins entfernt im fetten Bereich liegt, um dem Stickoxidadsorber noch genügend Reduktionsmittel zuzuführen und die Regeneration vollständig und schnell ablaufen zu lassen. Es zeigt sich, daß dabei ein End-Fettwert λ_{end} im Bereich zwischen etwa 0,85 und etwa 0,95 zu besonders befriedigenden Resultaten führt, wenngleich auch kleinere oder größere End-Fettwerte λ_{end} prinzipiell geeignet sind. Wenn die Regenerationsphase nun aus regelungstechnischen Gründen etwas zu lang andauert, so bleibt der daraus resultierende Reduktionsmittelschlupf relativ klein, da durch das näher am stöchiometrischen Wert eins liegende End-Luftverhältnis λ_{end} in diesem Zeitraum nicht mehr soviel Reduktionsmittel im Abgas enthalten ist wie bei Einstellung des minimalen Fettwertes λ_{\min} .

Fig. 2 veranschaulicht eine Strategie zur Einstellung des Abgasluftverhältnisses λ während der Desorptionsbetriebsphase, bei der nicht so frühzeitig wie im Beispiel von Fig. 1 das Abgasluftverhältnis λ vom minimalen Anfangs-Fettwert λ_{\min} in Richtung des End-Fettwertes λ_{end} angehoben wird. Vielmehr wird das minimale Abgasluftverhältnis λ_{\min} für eine geeignete, längere Zeitdauer aufrechterhalten, was den Brennstoffmehrerbrauch vergleichsweise gering hält. Diese Vorgehensweise beruht auf der Berechnung einer theoretischen Mindestregenerationsdauer t_{tm} , d. h. der je nach gewähltem Verlauf des Abgasluftverhältnisses λ mindestens zu erwartenden Zeitdauer bis zur im wesentlichen vollständigen Regeneration des Stickoxidadsorbers. Diese Berechnung der theoretischen Mindestregenerationsdauer kann in einer der hierfür dem Fachmann geläufigen Weisen erfolgen, wie sie z. B. im eingangs erwähnten Stand der Technik beschrieben sind. Sie ist beispielsweise durch eine Modellierung der Stickoxid-Rohemissionen der Verbrennungsquelle sowie dem Adsorptions- und Desorptionsverhalten des verwendeten Stickoxidadsorbers möglich. Bei Bedarf kann das Ende der jeweiligen Desorptionsbetriebsphase meßtechnisch z. B. anhand des Signals einer stromabwärts des Stickoxidadsorbers angeordneten Lambdasonde bestimmt und damit eine Anpassung des verwendeten Rechenmodells an die tatsächlich gemessenen Verhältnisse vorgesehen werden.

Zu Beginn einer Desorptionsbetriebsphase wird somit bei dem in Fig. 2 illustrierten Verfahren wiederum zunächst das unter der Bedingung eines ungestörten weiteren Betriebs der Verbrennungsquelle minimal mögliche Luftverhältnis λ_{\min} eingestellt und gleichzeitig die theoretische Mindestregenerationsdauer t_{tm} für die anstehende Desorptionsbetriebsphase berechnet. Um den Wechsel vom minimalen Luftverhältnis λ_{\min} zum Luftverhältnis λ_{end} am Ende der Desorptionsbetriebsphase für die Verbrennungsquelle leistungsmittelneutral, im Fall eines Verbrennungsmotors drehmomentneutral, zu regeln, ist eine gewisse Leistungsnachregeldauer t_{reg} erforderlich, d. h. bei einem Verbrennungsmotor eine Mindestdauer, die einer gewissen Mindestanzahl von Arbeitspielen entspricht. Damit die Desorptionsbetriebsphase mit möglichst geringem Brennstoffmehrerbrauch bewirkt werden kann, wird daher das minimale Luftverhältnis λ_{\min}

höchstens für die theoretisch notwendige Mindestregenerationsdauer t_{tm} abzüglich dieser Leistungsnachregeldauer t_{reg} für den Lambdawechsel beibehalten. Bei Änderungen des Luftverhältnisses λ während der Desorption gegenüber den Annahmen bei der Berechnung der theoretischen Mindestregenerationsdauer t_{tm} wird letztere laufend durch entsprechende Neuberechnung angepaßt. Der sich bei dieser Vorgehensweise ergebende Verlauf des Abgasluftverhältnisses λ während der Desorptionsbetriebsphase ist in Fig. 2 durch eine Kennlinie λ_2 repräsentiert. Wie daraus ersichtlich, wird nach Erreichen des End-Fettwertes λ_{end} der Desorptionsbetrieb noch für eine gewissen Zeitdauer t_1 beibehalten, während der überprüft werden kann, ob die Desorption des Stickoxidadsorbers auch tatsächlich schon vollständig erfolgt ist, bevor dann die Desorptionsbetriebsphase durch Übergang zum Magerbetrieb der Verbrennungsquelle beendet wird und der Stickoxidadsorber wieder im Adsorptionsbetrieb arbeitet.

Um zu vermeiden, daß eine eventuelle geringfügige Fehlberechnung der Mindestregenerationsdauer t_{tm} zu einem verspäteten Erreichen des End-Fettwertes λ_{end} und damit zu einem Reduktionsmittelschlupf führt, ist bevorzugt vorgesehen, den Beginn der Anhebung des Abgasluftverhältnisses um eine Sicherheitszeitdauer t_s vorzuverlegen, d. h. das minimale Luftverhältnis λ_{\min} wird für einen Zeitraum $t_{\text{tm}} = t_{\text{tm}} - t_{\text{reg}} - t_s$ beibehalten, welcher der berechneten Mindestregenerationsdauer t_{tm} abzüglich der Leistungsnachregeldauer t_{reg} und abzüglich der Sicherheitszeitdauer t_s entspricht. Dabei wird die Sicherheitszeitdauer t_s als eine applizierbare Größe vorgegeben, die in Abhängigkeit von den konkreten Bedingungen der Verbrennungsquelle, bei einem Kraftfahrzeugmotor z. B. abhängig von den Motorbedingungen und dem Fahrzustand, variabel gewählt werden kann. Die gemäß dieser Variante erfolgende Anhebung des Abgasluftverhältnisses λ ist in Fig. 2 anhand einer strichpunktierten Kennlinie λ_3 repräsentiert.

Die in Fig. 2 illustrierte Vorgehensweise, die von einer berechneten Mindestregenerationsdauer Gebrauch macht, gewährleistet eine Minimierung des Reduktionsmittelschlupfes am Ende der Desorptionsbetriebsphase und einen brennstoffverbrauchsoptimalen Ablauf der Desorption des Stickoxidadsorbers.

Neben den in den Fig. 1 und 2 gezeigten konkaven Kurvenverläufen des Abgasluftverhältnisses λ kann letzteres auch gemäß anderen funktionellen Zeitabhängigkeiten vom minimalen Fettwert λ_{\min} auf den End-Fettwert λ_{end} angehoben werden. Einige diesbezügliche Möglichkeiten sind in den Fig. 3 bis 6 dargestellt.

Im Beispiel von Fig. 3 erfolgt eine sprunghafte, einstufige Anhebung des Abgasluftverhältnisses λ gemäß einer Treppenkurve λ_4 . Demnach wird das Abgasluftverhältnis λ für eine anfängliche Zeitdauer t_1 auf dem minimalen Fettwert λ_{\min} gehalten, bevor es sprunghaft auf den End-Fettwert λ_{end} angehoben und dort für die restliche Zeitdauer t_2 der Desorptionsbetriebsphase gehalten wird.

Im Beispiel von Fig. 4 erfolgt die Anhebung des Abgasluftverhältnisses λ gemäß einer mehrstufigen Treppenfunktion λ_5 in mehreren Stufen, bis es zu einem gewissen Zeitpunkt t_2 während der Desorptionsbetriebsphase den End-Fettwert λ_{end} erreicht hat und dort bis zum Ende des Desorptionsbetriebs gehalten wird.

Fig. 5 veranschaulicht ein Verfahrensbeispiel, bei dem das Abgasluftverhältnis λ gemäß einer Geraden λ_6 linear vom minimalen Anfangs-Fettwert λ_{\min} auf den End-Fettwert λ_{end} angehoben wird.

Fig. 6 zeigt ein Verfahrensbeispiel, bei dem das Abgasluftverhältnis λ während der Desorptionsbetriebsphase gemäß einer konvexen Kurve λ_7 vom Anfangs-Fettwert λ_{\min}

auf den End-Fettwert λ_{end} angehoben wird.

Die verschiedenen, oben beschriebenen Ausführungsbeispiele verdeutlichen, daß sich durch das erfindungsgemäße Verfahren ein Stickoxidadsorber in einer vorteilhaften Weise regenerieren läßt, indem zu Beginn des Desorptionsvorgangs das Abgasluftverhältnis rasch auf einen minimalen Fettwert abgesenkt wird, so daß sofort ausreichend Reduktionsmittel zur Verfügung steht, um einen Stickoxiddurchbruch zu vermeiden, und im weiteren Verlauf der Desorptionsbetriebsphase das Luftverhältnis auf einen näher am stöchiometrischen Wert eins liegenden Endwert λ_{end} angehoben wird, so daß selbst bei einer geringfügigen Überschreitung der eigentlich notwendigen Desorptionsdauer kein signifikanter Reduktionsmittelschlupf auftritt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Durchführung von Desorptionsbetriebsphasen bei einem Stickoxidadsorber einer Abgasreinigungsanlage, insbesondere für einen Kraftfahrzeug-Verbrennungsmotor, bei dem

– das Luftverhältnis (λ) des dem Stickoxidadsorber zugeführten Abgases während der jeweiligen Desorptionsbetriebsphase im fetten Bereich gehalten wird,

dadurch gekennzeichnet, daß

– das Abgasluftverhältnis (λ) zu Beginn der Desorptionsbetriebsphase auf einen vorgebbaren minimalen Anfangs-Fettwert (λ_{min}) eingestellt und von dort im Verlauf der Desorptionsbetriebsphase auf einen vorgebbaren, spätestens gegen Ende der Desorptionsbetriebsphase vorliegenden End-Fettwert (λ_{end}) angehoben wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Anfangs-Fettwert (λ_{min}) in Abhängigkeit vom Betriebszustand der das zu reinigende Abgas emittierenden Verbrennungsquelle variabel vorgegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, weiter dadurch gekennzeichnet, daß der Anfangs-Fettwert (λ_{min}) im Bereich zwischen etwa 0,6 und etwa 0,7 und/oder der End-Fettwert (λ_{end}) im Bereich zwischen etwa 0,85 und etwa 0,95 liegend vorgegeben werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, weiter dadurch gekennzeichnet, daß

– für die jeweilige Desorptionsbetriebsphase eine theoretische Mindestdesorptionsdauer (t_{m}) anhand empirischer und/oder modellierter Daten über das Stickoxidemissionsverhalten der das Abgas emittierenden Verbrennungsquelle und über das Adsorptions- und Desorptionsverhalten des Stickoxidadsorbers ermittelt wird, und

– das Abgasluftverhältnis (λ) höchstens während einer Zeitdauer auf dem minimalen Anfangs-Fettwert (λ_{min}) gehalten wird, die der ermittelten theoretischen Mindestdesorptionsdauer abzüglich einer Leistungsnachregeldauer (t_{reg}) entspricht, die benötigt wird, diese Abgasluftverhältnisänderung für die Leistungsabgabe der Verbrennungsquelle neutral durchzuführen.

5. Verfahren nach Anspruch 4, weiter dadurch gekennzeichnet, daß das Abgasluftverhältnis (λ) für eine Zeitdauer (t_{m}) auf dem minimalen Anfangs-Fettwert (λ_{min}) gehalten wird, die der ermittelten theoretischen Mindestdesorptionsdauer (t_{m}) abzüglich der Leistungsnachregeldauer (t_{reg}) und abzüglich einer vorgebbaren

Sicherheitszeitdauer (t_{s}) entspricht.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



